

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.310.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19 декабря 2023 г., № 15

О присуждении Бежану Алексею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение эффективности систем теплоснабжения удаленных районов Арктической зоны путем внедрения энергокомплексов на базе ветроэнергетических установок (на примере Мурманской области)» по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы» принята к защите 10 октября 2023 г. (протокол заседания № 13) диссертационным советом 24.2.310.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51, приказ № 1181/нк от 12.10.2022 г.

Соискатель Бежан Алексей Владимировича, 02.11.1982 года рождения, в 2005 г. окончил ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет» по специальности «Теплофизика» (диплом с отличием ВСА № 0101915).

Бежан Алексей Владимирович работает в должности научного сотрудника лаборатории «Энергосбережения и возобновляемых источников энергии» Центра физико-технических проблем энергетики Севера - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального

исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории «Энергосбережения и возобновляемых источников энергии» Центра физико-технических проблем энергетики Севера - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Минин Валерий Андреевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Центр физико-технических проблем энергетики Севера - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», лаборатория «Энергосбережения и возобновляемых источников энергии», заведующий лабораторией, заместитель директора по научной работе.

Официальные оппоненты:

1. **Безруких Павел Павлович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», Институт гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, профессор;

2. **Кириченко Анна Сергеевна**, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», кафедра «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии», доцент.

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, в своём положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором кафедры «Тепловая и атомная энергетика» имени А.И.

Андрющенко» Николаевым Юрием Евгеньевичем, кандидатом технических наук, профессором кафедры «Тепловая и атомная энергетика» имени А.И. Андрющенко» Лариным Евгением Александровичем **указали**, что диссертация является **завершенным самостоятельным научным исследованием**, в котором решена актуальная и важная научно-техническая задача теоретического обоснования разработки и создания комбинированных систем теплоснабжения с использованием традиционных источников тепловой энергии и ветроэнергетических установок.

Представленная диссертационная работа является научно-квалификационной работой, содержащей совокупность новых положений и результатов, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения создания эффективных систем теплоснабжения в удаленных районах арктической зоны страны с использованием энергетических ветроустановок, свидетельствующие о достаточно высокой научной квалификации автора.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.4.5 - Энергетические системы и комплексы и отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Правительством РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор Бежан Алексей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 19 опубликованных работ по теме диссертации общим объемом 6,93 печатных листа и авторским вкладом 5,115 печатных листа; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Scopus – 3, объемом 1,34 печатных листа и авторским вкладом 1,34 печатных листа; в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК по специальности диссертации – 7, объемом 3,05 печатных листа и авторским вкладом 1,84 печатных листа; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ – 1, объемом 0,06 печатных листа и авторским вкладом 0,015 печатных листа; работ, опубликованных в изданиях, включенных в РИНЦ – 8, общим объемом 2,48 печатных листа и авторским

вкладом 1,92 печатных листа.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Бежан, А.В. Снижение себестоимости тепловой энергии за счет использования ветроэнергетических установок совместно с котельными на нужды теплоснабжения в удаленных районах арктической зоны Российской Федерации (на примере Мурманской области) / А.В. Бежан, Ю.Н. Звонарева, Р.А. Пономарев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2023. - № 25(3). - С. 128-138.

2. Бежан, А.В. Оценка эффективности системы теплоснабжения на основе котельной и ветроустановки в условиях Севера / А.В. Бежан, В.А. Минин // Теплоэнергетика. – 2017. - №3. – С. 51-60.

3. Бежан, А.В. Математическое описание водяного аккумулятора тепла кубической формы / А.В. Бежан // Энергосбережение и водоподготовка. - 2017. - № 6 (110). - С. 59-64.

4. Бежан, А.В. Математическое описание работы котельной совместно с ветроэнергетической установкой и тепловым аккумулятором / А.В. Бежан, В.А. Минин // Теплоэнергетика. – 2011. - № 11. – С.21-26.

5. Минин, В.А. Теплоснабжение зданий с участием ветроэнергетических установок / В.А. Минин, А.В. Бежан // Энергосбережение и водоподготовка. - 2009. - № 2(58). - С. 17-21.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов. Из них положительных – 8. С замечаниями – 6.

Отзывы прислали:

1. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Осинцев Константин Владимирович, ученый секретарь кафедры

«Промышленная теплоэнергетика» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Кускарбекова Сулпан Ириковна.

Замечаний нет.

2. Доктор технических наук, главный научный сотрудник, советник директора по физико-техническим проблемам энергетики ФГБУН Объединенный институт высоких температур Российской академии наук Попель Олег Сергеевич.

Замечания:

1) В качестве замечания по содержанию автореферата следует отметить отсутствие в нем части условных обозначений, что затрудняет восприятие приведенных математических соотношений. Недостаточно ясен источник появления в системе уравнений (1) некоторых численных коэффициентов (67/29, 37/29 и др.). По-видимому, они возникают в результате использования конкретных допущений/предположений, не отмеченных в автореферате. В этой связи возникает вопрос об универсальности использованных в математической модели соотношений и возможности их использования в других климатических и других условиях.

2) Вызывает вопрос использование в расчетных исследованиях характеристик ветроустановок Vestas V52/850, а не установок отечественного производства. Насколько использование установок российского производства повлияет на технико-экономические показатели энергокомплекса? Рассматривалась ли возможность повышения эффективности энергокомплекса путем использования в описанных системах теплоснабжения специально разработанных ветроустановок с упрощенной и более дешевой системой генерации и преобразования электроэнергии, качество которой (напряжение, частота) не принципиально при использовании для нагрева теплоносителя?

3. Кандидат технических наук, доцент кафедры «Физики, биологии и инженерных технологий» филиала ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет» в г. Апатиты Ефремов Вадим Викторович.

Замечание:

1) Из текста автореферата не ясно учитывались ли при выполнении расчетов потери тепловой энергии в тепловой сети.

4. Доктор технических наук, профессор, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Теплоэнергетики и теплотехники» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» Любов Виктор Константинович.

Замечание:

1) Ветроэнергетические установки являются достаточно дорогими устройствами, поэтому нужно очень тщательно подходить к расчету технико-экономической эффективности их применения для выработки и использования электрической энергии на нужды теплоснабжения. Необходимо учитывать все составляющие эффективности проектов на основе ВЭУ, в том числе социальные и экологические. В диссертационной работе данные вопросы не рассмотрены. По моему мнению, анализ эффективности использования ВЭУ совместно с котельными, работающими на органическом топливе, с учетом социальных и экологических выгод, получаемых от реализации проектов на основе ВЭУ, еще больше повысил бы целесообразность использования ВЭУ на нужды теплоснабжения в удаленных районах АЗРФ, что стало бы хорошим дополнением к результатам уже проделанной работы.

5. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика и холодильные машины» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» Ильин Роман Альбертович.

Замечаний нет.

6. Кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» Бессолицын Алексей Витальевич, кандидат технических наук, доцент, декан электротехнического факультета ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» Фоминых Антон Анатольевич.

Замечания:

1) Из автореферата не вполне ясно, учитывались ли потери теплоты в трубопроводах, связывающих отдельные здания и устройства, при построении структурной схемы системы теплоснабжения и соответствующей математической модели, описанных во второй главе диссертации.

2) На стр. 8 автореферата указано: «Исходными данными для расчётов являются графики изменений скорости ветра и температуры наружного воздуха, полученные на метеостанции с 1 января по 31 декабря 2021 года». Насколько будут влиять на результаты расчетов отличия друг от друга в разные годы параметров, характеризующих погодные условия?

7. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета Седнин Владимир Александрович.

Замечание:

1) Из текста автореферата не ясно, как производился расчет дисконтированного срока окупаемости проектов? Какими принимались срок службы гибридных энергокомплексов «ОК с ВЭУ и АТ», норма дисконтирования, стоимость ВЭУ и оборудования котельной?

8. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела №60 проблем энергетики ФГБУН Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН Прохоров Дмитрий Валерьевич.

Замечания:

1) Учитывает ли ваша модель потери тепла, связанные с вентилированием помещений? В районах Севера эти потери составляют внушительные объемы.

2) Каким образом используются излишки энергии, выработанной на ВЭУ в летнее время? Не лучше ли использовать излишки электроэнергии, выработанной на ВЭУ, для частичного замещения выработки электроэнергии на ДЭС или ТЭС.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации

обосновывается их известностью своими достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и их квалификацией определять научную и практическую ценность диссертации.

Официальный оппонент Безруких Павел Павлович является доктором технических наук по специальности 05.14.08 – «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии», является одним из авторитетных ученых Российской Федерации - специалистом в области развития использования возобновляемых источников энергии, включая ветроэнергетические установки, имеет соответствующие публикации.

Официальный оппонент Кириченко Анна Сергеевна является кандидатом технических наук по специальности 05.14.08 – «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии», занимается фундаментальными и прикладными исследованиями в области использования возобновляемых источников энергии, исследованиями, направленными на совершенствование систем теплоснабжения, имеет соответствующие публикации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов, занимается научной деятельностью по приоритетным направлениям развития науки, техники и инновационных технологий. Научные направления деятельности сотрудников кафедры «Тепловая и атомная энергетика» имени А.И. Андрущенко – исследования в области оценки эффективности теплоэнергетических комплексов на основе ветроэнергетических установок, систем теплоснабжения предприятий и городов, а также решение задач, направленных на повышение эффективности теплоэнергетических комплексов с разработкой теоретических основ для создания энергоресурсоэффективных способов производства, распределения и потребления энергоносителей. Сотрудники имеют соответствующие публикации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложено научно-техническое решение эффективного построения современных систем теплоснабжения с привлечением энергии ветра в качестве дополнительного источника тепловой энергии, позволяющее рассматривать применение комплекса «ветроэнергетическая установка (ВЭУ) + тепловой аккумулятор (ТА)» как ресурсо- и энергосберегающую технологию;

разработана математическая модель системы теплоснабжения, где источниками тепловой энергии являются котельная и комплекс, состоящий из ВЭУ и ТА. Модель представляет собой математический инструмент для расчета и анализа различных режимов работы котельной совместно с ВЭУ в зависимости от различных исходных климатических данных, определения рациональной структуры системы теплоснабжения с участием ВЭУ, определения возможных объёмов экономии органического топлива;

разработаны математические модели водяных аккумуляторов тепла, работающих в комплексе с ветроэнергетической установкой, позволяющие моделировать и исследовать работу таких аккумуляторов в режимах зарядки, разрядки и ожидания тепловой нагрузки;

разработана математическая модель здания как аккумулятора тепла для оценки изменения температуры внутреннего воздуха в зависимости от режимов работы котельной и ВЭУ;

доказана целесообразность сооружения и использования энергокомплексов «котельная + ВЭУ» для целей теплоснабжения в удаленных районах Мурманской области, способствующих повышению эффективности систем теплоснабжения, улучшению технико-экономических показателей работы. Использование ВЭУ совместно с котельными позволяет уменьшить участие котельных в теплоснабжении потребителей до 90% и на столько же сэкономить органическое топливо на котельных, что в свою очередь позволяет снизить себестоимость тепловой энергии на 10-60%, а использование избыточной энергии ВЭУ за счёт теплоаккумулирующей способности здания дает возможность в отдельные месяцы дополнительно сократить участие котельных в теплоснабжении потребителей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана целесообразность применения энергокомплексов «котельная + ВЭУ + ТА» для повышения эффективности систем теплоснабжения в удаленных районах Арктической зоны РФ;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы дифференциальных балансных уравнений, численного эксперимента с помощью полученных математических моделей, а также технико-экономических расчетов в энергетике;

изложены результаты оценки энергетической эффективности использования ВЭУ совместно с котельной для целей теплоснабжения на примере удаленного потребителя тепловой энергии (на примере поселка Лодейное Мурманской области);

изложены результаты технико-экономической оценки перспектив сооружения и использования ВЭУ совместно с котельными для целей теплоснабжения в удаленных районах Мурманской области;

изучено влияние величины стоимости органического топлива, соотношения мощностей ВЭУ и котельной на изменение себестоимости тепловой энергии в удаленных районах Мурманской области.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены (имеется акт использования) при проведении занятий по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения» в учебный процесс ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (г. Казань) методика математического описания здания как аккумулятора тепла и методика оценки эффективности использования ВЭУ совместно с котельными для целей теплоснабжения;

разработана программа для ЭВМ для расчета зависимости параметров водяного теплового аккумулятора по времени (Свидетельство о регистрации №2023664293);

определены реальные эффекты от использования ВЭУ совместно с котельными для целей теплоснабжения в удаленных районах Мурманской области, выражающиеся в экономии органического топлива в котельных, и как следствие, в снижении себестоимости тепловой энергии;

определена инвестиционная привлекательность проектов по сооружению и использованию энергокомплексов «котельная + ВЭУ» для целей теплоснабжения в удаленных районах Мурманской области.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

теория не противоречит известным из литературы данным, согласуется с опубликованными теоретическими и экспериментальными работами других авторов, построена на использовании законов теплообмена, термодинамики, методов технико-экономических расчетов в энергетике, физико-математического моделирования тепломассообменных процессов, протекающих в системах теплоснабжения, тепловых аккумуляторах, системах отопления зданий;

идея базируется на анализе известных технических мероприятий, направленных на повышение эффективности систем теплоснабжения путем внедрения энергокомплексов на базе ветроэнергетических установок, и обобщении передового опыта исследований по данной тематике;

использованы современные методики численных экспериментальных исследований, сбора и обработки данных.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии во всех этапах получения результатов, представленных в диссертации и публикациях, в разработке математической модели и в выполнении расчетов энергетической эффективности системы теплоснабжения, где источниками тепловой энергии являются котельная и ВЭУ соизмеримой мощности, с учетом изменения климатических факторов. В разработке математической модели здания как аккумулятора тепла в зависимости от режимов работы котельной и ВЭУ. В выполнении технико-экономической оценки внедрения и использования ВЭУ совместно с котельными в системах теплоснабжения удаленных районов

Мурманской области. В самостоятельном анализе и интерпретации результатов исследования, подготовке докладов, выступлений на конференциях и написании статей.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Недостаточно ясен источник появления в системе уравнений (1) некоторых численных коэффициентов ($67/29$, $37/29$ и др.). По-видимому, они возникают в результате использования конкретных допущений/предположений, не отмеченных в автореферате. В этой связи возникает вопрос об универсальности использованных в математической модели соотношений и возможности их использования в других климатических и других условиях.

2. Из текста автореферата не ясно учитывались ли при выполнении расчетов потери тепловой энергии в тепловой сети.

3. На рис. 2.2 диссертации отсутствует излом температурного графика теплосети, и выполненные исследования касаются только отопительной нагрузки. Графики нагрузки горячего водоснабжения не рассмотрены. Отсюда возникает вопрос об использовании выработанной электроэнергии ВЭУ в летний период?

Соискатель Бежан А.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Численные коэффициенты ($67/29$, $37/29$ и 2), представленные в системе уравнения (1) автореферата, появились в результате аппроксимации графиков изменения температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети и системы отопления здания. Данные графики задаются температурным графиком 105/70 качественного регулирования отопительной нагрузки котельной п. Лодейное Мурманской области и представлены на рисунке 2.2 диссертации, а соответствующие им аппроксимирующие выражения приведены в тексте диссертации под номерами (2.8), (2.9) и (2.10). С вопросом об универсальности использованных в математической модели соотношений, включающих в себя численные коэффициенты ($67/29$, $37/29$ и 2),

и возможности их использования в других климатических и других условиях согласен. Данный вопрос будет учтен при дальнейших разработках математических моделей системы теплоснабжения на основе энергокомплекса, состоящего из котельной, ветроэнергетических установок и других возможных источников энергии.

2. При выполнении расчетов было принято, что потребители тепловой энергии настолько близко приближены к источнику тепла (котельной), что потери тепловой энергии в тепловой сети будут сведены к минимуму, и поэтому указанные тепловые потери при выполнении расчетов не учитывались.

3. Температурный график теплосети, изображенный на рисунке 2.2 диссертации без точки излома, соответствует реальному утвержденному температурному графику, который в настоящее время используется для регулирования отпуска тепловой энергии от мазутной котельной поселка Лодейное Мурманской области. Централизованная система горячего водоснабжения в поселке Лодейное отсутствует, поэтому графики нагрузки горячего водоснабжения в работе не рассматривались.

В летний период, когда потребность в тепловой энергии на нужды теплоснабжения со стороны потребителей отсутствует, выработанная электроэнергия ВЭУ рассматривается как избыточная и она не используется. В тоже время в отдельных районах Арктической зоны из-за суровых природно-климатических условий продолжительность отопительного периода может достигать 12 месяцев в году. В этих условиях выработанная электроэнергия ВЭУ будет использоваться и в летний период на нужды теплоснабжения потребителей тепловой энергии.

Диссертационный совет рекомендует использовать результаты диссертационного исследования Бежана А.В. в научно-исследовательских учреждениях, лабораториях и на промышленных предприятиях, занимающихся проектированием и эксплуатацией систем теплоснабжения, включающих в себя котельные, ветроэнергетические установки и тепловые аккумуляторы, а также в научно-образовательном процессе в профильных высших учебных заведениях.

Полученные в работе результаты могут быть использованы на теплоснабжающих предприятиях: АО «Мурманэнергосбыт», ПАО «Территориальная генерирующая компания №1», ООО «ПромВоенСтрой», МУП «Ресурсная компания Кольского района». Предложенный способ теплоснабжения с участием ветроэнергетических установок позволит улучшить показатели работы теплоснабжающих предприятий удаленных районов Арктической зоны Российской Федерации, повысить инвестиционную привлекательность систем теплоснабжения при проведении работ по модернизации и реконструкции источников теплоснабжения путем внедрения энергокомплексов на базе ветроэнергетических установок.

На заседании 19 декабря 2023 года, протокол №15, диссертационный совет за решение научной задачи повышения эффективности систем теплоснабжения удаленных районов Арктической зоны путем внедрения и использования ветроэнергетических установок для целей теплоснабжения, имеющей существенное значение для развития отрасли знаний, занимающейся проектированием и эксплуатацией систем теплоснабжения, принял решение присудить Бежану А.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 16 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 12, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Ваньков Юрий Витальевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Зиганшин Шамиль Гаязович

19 декабря 2023 г.

